

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

А.Д. Качан, А.М. Леонков, Н.В. Муковозчик,
Т.Г. Нефедова, П.Н. Шишея

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ И КОНЕЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА ПРИ РАСЧЕТЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН НА ЭВМ

В [1] была приведена методика расчета уточненных энергетических характеристик (ЭХ) теплофикационных турбин на ЭВМ, основанная на выделении в таких турбинах двух потоков пара — теплофикационного и конденсационного с использованием в качестве показателей работы турбинной установки соответственно удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении

W и удельного расхода тепла для конденсационного цикла q_k . Учет режима работы турбины и к.п.д. проточной части осуществлялся путем определения дополнительных потерь тепла в различных отсеках турбины и введения соответствующих поправок к значениям W и q_k , найденным для расчетного режима работы турбоустановки.

Программа расчета ЭХ на ЭВМ должна обеспечивать также учет начальных параметров пара и конечного давления, а также состояния проточной части, изменяющихся в процессе эксплуатации.

Особое значение это имеет для установок, длительное время работающих с параметрами пара, значительно отличающимися от номинальных. Так, на многих ТЭС принято решение о снижении начальной температуры пара с 565°C до $545 - 555^{\circ}\text{C}$ с целью повышения надежности работы оборудования.

Изменение начальной температуры и давления в различной степени сказывается на экономичности теплофикационного и конденсационного потоков пара. Снижение температуры свежего пара, например, уменьшает энтальпию отбираемого пара и увеличивает весовой отпуск пара потребителю, что способствует повышению эффективности теплофикации и в некоторой степени компенсирует снижение W за счет уменьшения располагае-

мого перепада энтальпий в турбине. Расчеты показывают, что снижение температуры свежего пара на 20°C для теплофикационных турбин на параметры пара 130 ата, 565°C уменьшает экономичность конденсационного потока пара на 2,7%, а удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении снижается только на 1,4 – 2,6% (рис. 1,2). Причем большее снижение \overline{W} имеет место для производственного отбора при энтальпии возвращаемого конденсата 419 кДж/кг.

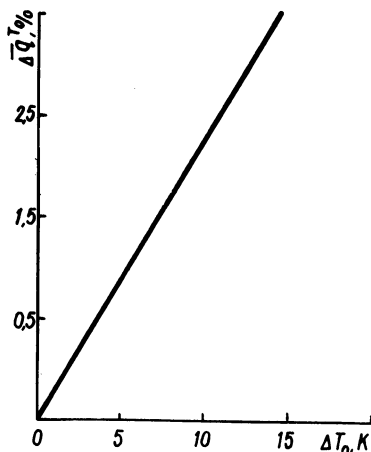


Рис. 1. Увеличение внутреннего удельного расхода тепла конденсационным потоком при отклонении температуры свежего пара от номинальной (838 К) при $p_0 = 13\text{МПа}$.

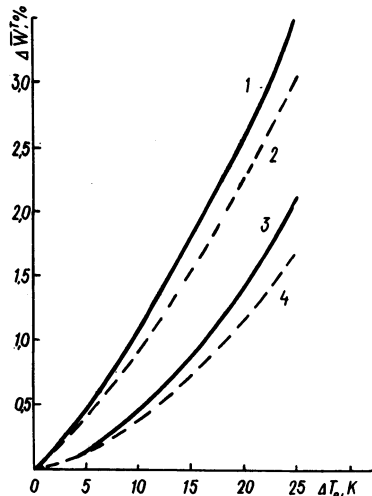


Рис. 2. Уменьшение внутренней удельной выработки электроэнергии на тепловом потреблении при отклонении температуры свежего пара от номинальной (838 К) при $p_0 = 13\text{МПа}$:
 1 - $\overline{\Delta W}_{\text{пр}} (б/р)$; 2 - $\overline{\Delta W}_{\text{пр}}$ (с учетом регенерации); 3 - $\overline{\Delta W}_{\text{от}} (б/р)$; 4 - $\overline{\Delta W}_{\text{от}}$ (с учетом регенерации).

Уменьшение давления свежего пара, наоборот, более существенно будет сказываться на экономичности теплофикационного цикла турбины. Изменение давления в конденсаторе изменяет экономичность только конденсационной выработки, причем

количественно его влияние будет зависеть от режима работы (загрузки) части низкого давления (ЧНД) турбины.

Таким образом, учет влияния параметров пара при расчете ЭХ должен производиться в отдельности для конденсационного и теплофикационного потоков пара, т.е. должен осуществляться в процессе определения значений W и q_k .

Отклонение начальных параметров пара изменяет использованный в турбине перепад энтальпий до регулируемого отбора на величину ΔH_i и энтальпию отбираемого пара на величину $\Delta i_{отб}$. По известным ΔH_i и $\Delta i_{отб}$ нетрудно определить изменение удельной выработки электроэнергии.

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta H_i (i_{отб}' - i_{отб}') - H_i \Delta i_{отб}}{(i_o - i_{отб}') (i_{отб}' + \Delta i_{отб}' - i_{отб}')} 100, \% \quad (1)$$

Здесь i_o , $i_{отб}'$, $i_{отб}'$, H_i - относятся к режиму работы турбоустановки с номинальными параметрами пара.

При этом

$$\Delta i_{отб}' = \Delta i_o - \Delta H_i, \quad (2)$$

где Δi_o - изменение энтальпии свежего пара.

Для случая изменения начальной температуры пара от T_o до T_{o1} и при неизменном начальном давлении

$$\Delta i_o^T = c_p (T_{o1} - T_o)^m; \quad (3)$$

$$\Delta H_i^T = H_{i_o} \left[\left(\frac{T_{o1}}{T_o} \right)^{n-1} - 1 \right], \quad (4)$$

где c_p - теплоемкость пара при постоянном давлении.

Для случая изменения начального давления от p_o до p_{o1} при неизменной степени открытия регулирующих клапанов и постоянном к.п.д. проточной части турбины с достаточной для практических расчетов точностью

$$\Delta H_i^D = H_{i_o} \left(\frac{p_o}{p_{o1}} \frac{p_{o1} - p_{отб}}{p_o - p_{отб}} - 1 \right); \quad (5)$$

$$\Delta i_o^D = k (p_o - p_{o1}), \quad (6)$$

где k для $t = 565^\circ\text{C}$ (при изменении p_o в пределах 10 - 15 МПа) можно принять равным 10,26 кДж/кг·МПа.

Изменение удельного расхода тепла Δq на выработку электроэнергии конденсационным потоком пара при отклонении начальных параметров пара удобно найти в относительной величине, т.е. в процентах от значения q_k при номинальных параметрах пара:

$$\overline{\Delta Q} = \left(\frac{100 + \overline{\Delta Q}}{100 + \overline{\Delta N}} - 1 \right) 100\% . \quad (7)$$

$$\text{Здесь } \overline{\Delta Q} = \frac{Q_1 - Q}{Q} 100 \text{ и } \overline{\Delta N} = \frac{N_1 - N}{N} 100 - \text{от-}$$

носительное (в процентах) изменение расхода тепла в свежем паре и мощности турбины.

Нетрудно показать, что

$$\overline{\Delta Q} = \left(\frac{l_{\text{уд}}}{l_{\text{уд}} + \Delta l} \frac{i_o + \Delta i_o - i_{\text{п.в}}}{i_o - i_{\text{п.в}}} - 1 \right) 100\%; \quad (8)$$

$$\overline{\Delta N} = \frac{\Delta l}{l_{\text{уд}}} 100\% , \quad (9)$$

где $l_{\text{уд}}$ - удельная работа конденсационного потока пара в турбине, равная $i_o - i_k$, причем энтальпия отработавшего пара в конденсаторе i_k находится в процессе расчета ЭХ по методике [1]; $i_{\text{п.в}}$ - энтальпия питательной воды; Δl - изменение удельной работы конденсационного потока пара при изменении начальных параметров пара.

Определяя Δl как разность $(i_{o1} - i_{k1}) - (i_o - i_k)$, получим

$$\Delta l = \Delta i_o - \Delta i_{\text{отб}} - N_i^{\text{ЧНД}} \Delta x_{\text{ср}} . \quad (10)$$

Здесь i_{o1} , i_{k1} - энтальпия свежего и отработавшего пара при начальных параметрах пара, отличных от номинальных; $N_i^{\text{ЧНД}}$ - использованный теплоперепад в ЧНД турбины (определяется в процессе расчета ЭХ по методике [1]); $\Delta x_{\text{ср}}$ - изменение средней степени сухости пара в ЧНД.

В первом приближении

$$\Delta x_{\text{ср}} \approx \frac{\Delta i_o - \Delta N_i}{r} , \quad (11)$$

где r - скрытая теплота парообразования при давлении в конденсаторе.

По приведенным разработкам можно составить программу расчета ЭХ на ЭВМ с учетом влияния начальных и конечных параметров пара.

В работе не рассматривается влияние конечного давления p_k , так как оно учитывается в процессе расчета ЭХ по [1] путем определения характеристик ЧНД и конечной энтальпии пара через приведенный расход пара [2]:

$$D_k^{пр} = D_k \left(\frac{p_k^{ном}}{p_k} \right)^{0,93}. \quad (12)$$

Здесь используется "универсальность" зависимости к.п.д. ЧНД от объемного расхода пара и практически линейная связь между удельным объемом и давлением отработавшего пара (в небольшом диапазоне изменения последнего).

Изменение расхода тепла на турбоустановку при отклонении параметров пара от номинальных за определенный промежуток времени, что важно для оценки качества эксплуатации, можно определить из выражения

$$\Delta Q_o^o = \sum \frac{\Delta \bar{q}}{100} q_k N_{ki} \tau_i + \sum \frac{\Delta \bar{W}}{100} W Q_{Ti} \tau_i (q_k^o - q_T), \quad (13)$$

где τ_i - промежутки времени, в течение которых происходит отклонение параметров пара; Q_{Ti} , N_{ki} - тепловая нагрузка и конденсационная мощность турбины в течение τ_i ч; q_k , q_T - удельные расходы тепла по выработке электроэнергии на конденсационном потоке и на тепловом потреблении.

Полученные выражения пригодны как для ручного, так и машинного контроля экономичности работы теплофикационных установок при переменных режимах.

Л и т е р а т у р а

1. Качан А.Д., Леонков А.М., Муковозчик Н.В. Расчет энергетических характеристик теплофикационных турбин с помощью ЭВМ. - В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики, вып. 1. Минск, 1974.
2. Качан А.Д. Экономические характеристики теплофикационных турбин и оптимизация режимов работы ТЭЦ. - В сб.: Теплоэнергетика, вып. 1. Минск, 1970.